

郭立平, 乔林, 石茗化, 等. 河北廊坊市连续重污染天气的气象条件分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 497-504, [GUO Liping, QIAO Lin, SHI Minghua, et al. Analysis About Meteorological Conditions of Continuous Heavy Pollution Episodes in Langfang of Hebei Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(3): 497-504], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-03-0497

河北廊坊市连续重污染天气的气象条件分析

郭立平¹, 乔林², 石茗化¹, 王旭光³

(1. 河北省廊坊市气象局, 河北 廊坊 065000; 2. 北京市气象局, 北京 100089;
3. 河北省廊坊市环保局, 河北 廊坊 065000)

摘要:利用2013年1月至2014年7月廊坊市空气污染资料及逐小时风向风速、相对湿度、气压等地面自动站观测资料,通过统计学方法对廊坊市该期间发生的17次连续3d及以上重污染天气过程进行分析,结果表明:(1)17次连续重污染天气过程主要发生在1~3月和11~12月,1月最多,最长连续时间长达7d;(2)连续重污染天气过程中,首要污染物主要是细颗粒物PM_{2.5};有高污染浓度持续日和高污染浓度间断分布日2种情况,平均浓度分别达到314 μg/m³和193 μg/m³,高污染浓度持续日的比例达60%;(3)500 hPa高空廊坊市处于高压脊前西北偏西气流中,地面分别位于弱高压场区及低压场(倒槽)区是连续重污染天气过程最主要的2类配置类型,后者是6级空气严重污染的主要控制形势;(4)连续重污染天气形成的气象条件是:廊坊市地面风向为西南风至偏西风或者为偏东风至东南风,风力≤2级;2~3月|ΔP₃|≤3.0 hPa,其余月|ΔP₃|≤2.0 hPa;相对湿度在40%~95%之间;日降水量≤0.6 mm,近地层有逆温层存在,平均高度900 hPa以下,厚度≥10 hPa,逆温层强度≥1℃;(5)当廊坊市地面处于低压场(倒槽)控制下,逆温层高度在925 hPa以下、厚度≥20 hPa及逆温层强度≥3℃,有利于严重污染天气的形成,若同时廊坊市地面风向为东北风至偏东风、风力为1级,相对湿度≥50%,则有利于高污染浓度持续日的形成和发展;(6)2014年2月11~15日河北省区域性空气重污染的演变状态及利用美国NOAA的Hysplit-4模式计算得到的空气质点的后向轨迹表明,燕山、太行山山脉的阻挡以及河北省和周边重污染区域分布导致的污染物区域输送是廊坊市连续重污染天气产生的重要因素之一。

关键词:连续重污染天气;环流配置特征;气象条件;高污染浓度;成因分析

文章编号:1006-7639(2015)-03-0497-08 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-03-0497

中图分类号:P404

文献标识码:A

引言

重度及严重空气污染不仅能危害人们的正常生活,甚至能威胁人们的身心健康。连续多日重度及严重空气污染,导致空气污浊,光照减少、能见度下降,从而对呼吸道病人、农业生产、交通运输等带来不同程度的广泛影响,随着社会各界对大气污染问题的深刻认识,针对空气质量、空气污染的自然、气象条件等的研究已经成为许多部门重点研究的课题之一。目前,已有一些气象工作者做了相关研究,如张夏琨^[1]、山义昌^[2]等分别研究了石家庄市、潍坊市空气质量与气象条件的关系,杨兰芳^[3]、赵敬

国^[4]等分析了兰州市城区大气受烟尘污染的变化特征及空气污染与气象条件的关系,肖舜等^[5]分析了西安世园会园区大气环境质量与气象因子的关系,刘爱霞等^[6]分析了2011年秋冬季天津PM_{2.5}组分特征及其对能见度的影响,孟燕军等^[7]归纳了影响北京市大气污染物变化的地面天气形势场特征,郭虎等^[8]对2006年4月7~10日北京一次连续重污染过程的气象条件进行了详细分析,毛宇清等^[9]对2次秸秆焚烧污染过程的气象条件进行了对比分析,纪晓玲等^[10]探讨了银川市灰霾天气环流分析及预报思路。然而目前关于连续重污染天气的相关预报研究还不够,远不能满足连续重污染天气预报预

收稿日期:2014-08-06;改回日期:2014-10-10

基金项目:廊坊市科技局2014年项目“基于物联网的雾霾及空气污染气象条件预报预警技术研究”(2014013004B)资助

作者简介:郭立平(1970-),女,汉族,河北省秦皇岛市人,高级工程师,主要从事天气预报及预报技术研究工作。E-mail:gglpp_lf@126.com

警业务开展和为政府、公众提供信息服务的需求。因此,深入研究连续重污染天气的气象条件及形成原因,可为今后连续重污染天气的气象条件研判以及预报预警业务开展提供科学依据。

1 资料与标准

空气污染资料为 2013 年 1 月至 2014 年 7 月廊坊市环境监测站的逐日及逐小时 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 等主要污染物的空气质量监测数据,来自廊坊市环境监测中心、廊坊市药材公司、廊坊市开发区、廊坊市北华航天学院等 4 个监测站点;高空、地面等气象资料为中国气象局下发的 Micaps 资料;地面风向风速、相对湿度、气压等气象要素资料为廊坊市气象观测站的自动站观测资料。

根据中华人民共和国国家环境保护标准 HJ 633-2012 及中华人民共和国国家标准 GB 3095-2012 的规定,按照全市 4 个环境监测站点的日平均空气质量指数(AQI),将 $200 < AQI \leq 300$ 定为 5 级空气重度污染日, $AQI > 300$ 定为 6 级空气严重污染日,5 级和 6 级空气污染日均称为重污染天气日,并将连续 3 d 及以上的连续重污染天气定义为连续重污染天气过程。

2 连续重污染天气的分布特征

2.1 连续重污染天气的分布特征

廊坊市位于冀中滨海平原区,2013 年中国环保部发布的“京津冀、长三角、珠三角区域及直辖市、省会城市和计划单列市空气质量”排名情况显示,廊坊市在全国空气污染最重城市中排在前 10 位。根据廊坊市环保局提供的空气污染资料统计结果显示,2013 年 1 月至 2014 年 7 月廊坊市出现连续 3 d 及以上重污染天气过程 17 次,连续 6 级严重污染天气过程 2 次,重污染日数达 72 d,其中 6 级严重污染日数达 36 d,占 50%。除 2013 年 9 月出现一次连续重污染天气过程外,其余的主要出现在 1~3 月及 11~12 月,1 月最多,达 6 次。连续重污染天气过程中以连续 3 d 的重污染天气过程为最多,达 8 次,连续 4 d 的出现 3 次,连续 5 d、6 d、7 d 的均为 2 次。由此可见,1~3 月及 11~12 月是连续重污染天气频繁发生的时段,也是廊坊市采暖期,需重点关注和防范。

结合天气现象及风速变化发现,17 次连续重污染天气过程中,除 2、3 月各有一次连续重污染天气过程的最后一日有沙尘影响(一日内 2 min 平均风力 4 级以上时数 ≥ 5 h),是静稳型空气重污染转沙

尘型空气重污染的 2 个重污染天气过程外,其余均是静稳型空气重污染过程(一日内 2 min 平均风力 4 级以上时数均 < 2 h)。

2.2 连续重污染天气的污染物分布特征

2013 年 1 月至 2014 年 7 月廊坊市空气污染数据分析表明,在连续重污染天气中,首要污染物主要是细颗粒物($PM_{2.5}$)和可吸入颗粒物(PM_{10}),并以细颗粒物($PM_{2.5}$)为主,占 90.3%。图 1 是 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的逐月分布,2 类污染物浓度有相似的波动变化,浓度最低值在夏季,最高值在 1 月,2013、2014 年 1 月 $PM_{2.5}$ 月平均浓度均在 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上。

利用廊坊市气象观测站最近(约 1.2 km)的廊坊市药材公司空气质量监测站 2013 年 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 数据,分析 2 类污染物浓度的平均日变化(图 2),发现 2 类污染物浓度平均日变化均呈 2 谷 2 峰型,谷点位于 06 时、16 时,峰点位于 09~10 时和 22~24 时,虽然各月 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度的平均日变化(图略)峰、谷点分布略有差异,但均呈 2 谷 2 峰型分布。

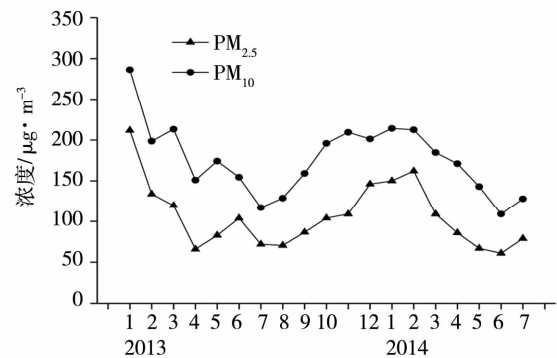


图 1 2013 年 1 月至 2014 年 7 月 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的逐月分布

Fig. 1 The monthly change of concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10} from January 2013 to July 2014

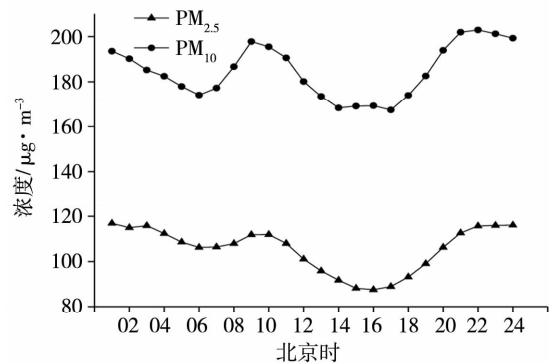


图 2 2013 年廊坊市药材公司监测站 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的日变化

Fig. 2 The daily change of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations at the medicinal company monitoring station in Langfang in 2013

连续重污染日有 $PM_{2.5}$ 小时浓度整日均 $> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5级及以上空气重度污染程度,下同)的高污染浓度持续日及一日中部分时段 $PM_{2.5}$ 小时浓度 $\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 部分时段 $PM_{2.5}$ 小时浓度 $> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的高污染浓度间断分布 2 种情况。17 次连续重污染天气过程中有 24 d 是 24 h 持续高污染浓度的重污染天气日,占 60%,而持续 24 h 高污染浓度又连续重污染天气的持续时间可长达 5 d,这种持续且连续重污染浓度的天气过程,应是重点预报预警且需积极采取防范措施应对的高危害性天气过程。

3 连续重污染天气的气象条件

污染物排放量和大气对污染物的稀释扩散能力是影响城市大气环境质量的 2 个主要因子。在污染物排放量一定的情况下,空气污染与气象条件之间的关系密切,各种尺度、不同程度的空气污染与污染物在大气中的输送、扩散过程有关,而这些过程几乎完全依赖于各种气象条件。

3.1 高空、地面环流形势配置

连续重污染天气的出现除了季节、当地污染源的排放因素外,更主要是有适宜的气象环境场。利用 Micaps 常规气象资料,分析上述 17 次连续重污染天气过程中 08 时 500 hPa 高空环流形势场及地面气压形势场,其配置主要有 7 种类型(表 1)。表 1 中高压脊类型指廊坊市处于高压脊的控制下,高压脊线一般位于新疆至渤海湾之间;高空槽型指廊坊市受高空槽内部控制;平直西风型指新疆至渤海湾之间, 40°N 附近基本为平直西风气流控制;高气压场型指廊坊市位于高气压场的偏前部、内部或后部,处于偏前部时,北京至呼和浩特间的等压线数 ≤ 2 条;低气压场型,包括地面低气压场和地面倒槽,指廊坊市处于自北向南开口或自南向北开口的低气压场中;均压场指廊坊市处于对称的 2 个高压、2 个低压间的均压场内或不对称、气压梯度小、气压场分布比较均匀的气压场内。

从表 1 中可见,08 时 500 hPa 高空廊坊市受高压脊控制,同时地面处于高气压场区是连续重污染天气过程的主要配置类型,占 34.7%;08 时 500 hPa 高空廊坊市为高压脊控制,同时地面处于低气压场(倒槽)区的配置次之,占 30.6%,是连续重污染天气过程中 6 级空气重污染日的主要大气环流控制形势。表明在高空环流形势相似条件下,廊坊地面为低气压场(倒槽)控制时 6 级空气严重污染日的比例增加。

表 1 廊坊市连续重污染天气的高空、地面环流形势配置

Tab. 1 The circulation situation configuration of upper and surface layer during continuous heavy pollution weather processes in Langfang city

500 hPa 高空环流形势	地面气压场形势	5 级重度污染日/d	6 级严重污染日/d	重污染总日数/d
高压脊	高气压场	16	9	25
平直西风	高气压场	2	2	4
高空槽内	高气压场	2	1	3
高压脊	均压场	4	2	6
高压脊	低气压场	8	14	22
高空槽内	低气压场	3	4	7
平直西风	低气压场	1	4	5

3.2 地面风向风速

地面风向风速分布是影响雨、霾、雾等各类天气的基础要素,风速大小及风向辐合、辐散对污染物积聚和扩散有显著影响。

统计 17 次连续重污染天气过程逐小时内地面 2 min 平均风速(图 3a),可以看出连续重污染天气出现时逐小时内 2 min 平均风力均在 5 级之内,并以 2 级风力以下为主,占 96.4%,其中 1 级风力所占比例最大,为 57.1%,2 级风次之,占 28.7%;4、5 级风力所占比例不足 1%,且主要出现在连续重污染天气过程结束日,持续时间 < 8 h,原因是由于较强冷空气侵入。可见风力 ≤ 2 级是连续重污染天气产生的重要气象条件之一。

除地面风力之外,地面风向导致的辐合、辐散环流场对污染物积聚和扩散也有一定影响。利用连续重污染天气过程逐小时内 2 min 最多风向进行统计分析(图 3b),可以看出廊坊市地面风向为西南风至西风(风向范围 $225^\circ \sim 270^\circ$)时连续重污染天气出现的频率最高,占 28%,其次是东风至东南风(风向 $90^\circ \sim 135^\circ$),占 16.7%,而东南风至南风及西北风至北风发生频率最低,均不足 5%。地面风向的这种概率分布与河北省的地形环境特点及省内、省周边重污染区域的分布关系密切。图 4 是 2014 年 2 月 11 ~ 15 日河北省一次区域性重污染天气过程的 AQI 指数演变过程及利用美国 NOAA 的 Hysplit-4 模式(<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>)计算得到的 2 月 11 ~ 15 日空气质点的后向轨迹图。从图 4a 中可见,自西南至东北方向分布的石家庄、保定、廊坊、唐山、秦皇岛 2 月 11 ~ 15 日的空气

污染演变状态非常一致,这几个城市处于南北走向的太行山山脉及东西走向的燕山山脉所包围的山前喇叭口区,500 hPa 高空 11~12 日河北省受弱高压脊前西北气流控制,13 日起转为西北偏西气流;850 hPa 高空大气环流场由 11~12 日的高压脊前西北气流控制转为 13~15 日的高空槽前西南气流控制,地面从高压场区转为低压场和倒槽区,正是高空槽前西南气流叠加地面低压场(倒槽)的大气环流配置导致廊坊市空气污染程度从 5 级上升到 6 级,且持续 3 d;同时从 300、900、1 200 m 高度处空气质点后向轨迹(图 4b)中可以看到,高污染物浓度的地区空气质点随大气环流向廊坊市移动。可见不利地形环境和大气环流场分布导致河北省平原地区污染物浓度积聚,也容易导致高污染物浓度地区(石家庄、保定、唐山、天津等地均是河北省内、省周边比较严重的重污染地区,2013 年中国环保部公布数据,下同)污染物随大气环流向廊坊市输送,这也是廊坊市连续重污染天气产生不可忽视的重要因素之一。

而当地面风向为西北风至北风或东南风至南风时,污染物的区域输送影响相对小,张家口、沧州地区是河北省污染比较轻的区域,此外,当地面为偏北风控制时,顺风扩散、山脉阻挡作用弱;当地面为东南风至南风控制时通常与南来丰沛水汽相伴,容易产生降水天气,也不利于连续性重污染天气产生。

3.3 地面相对湿度条件

空气湿度的大小对气体的流动速度有一定影响。分析连续重污染天气过程中的相对湿度条件发现,相对湿度主要介于 11%~95% 之间,在 40%~95% 之间的小时数最多,比例高达 88.6% (图 5a),并以 70%~89% 之间的比例为最高,占 36.9%。相对湿度 <30% 的时段比例只有 6%,主要出现在连续重污染天气过程的结束日。污染物 $PM_{2.5}$ 的小时浓度变化与相对湿度的变化有基本一致的对应关系(图 5b)。上述分析表明,若空气相对湿度达到 40%~95% 之间,则产生空气重污染的概率将明显增大。

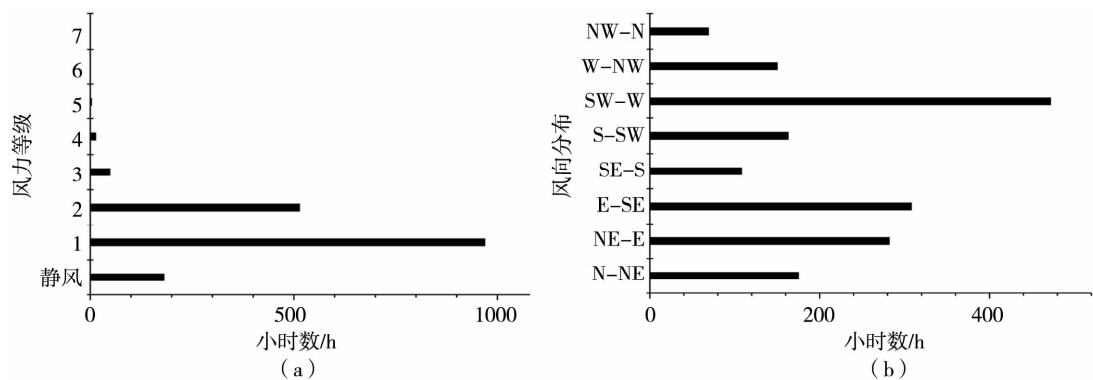


图 3 廊坊市连续重污染天气的风力(a)及风向(b)分布特征

Fig. 3 The distribution characteristics of wind speed (a) and wind direction (b) during continuous heavy pollution weather processes in Langfang

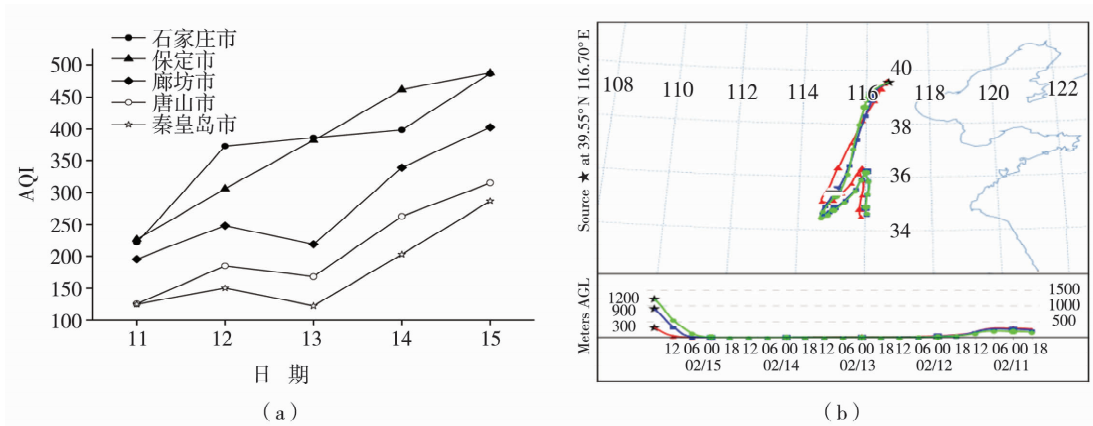


图 4 2014 年 2 月 11~15 日河北省区域污染过程的

AQI 指数变化(a)及廊坊站不同高度气团后向轨迹(b)

Fig. 4 The change of AQI of some pollution areas in Hebei Province (a), and the backward trajectories of air particles with different altitude over Langfang station (b) from February 11 to 15, 2014

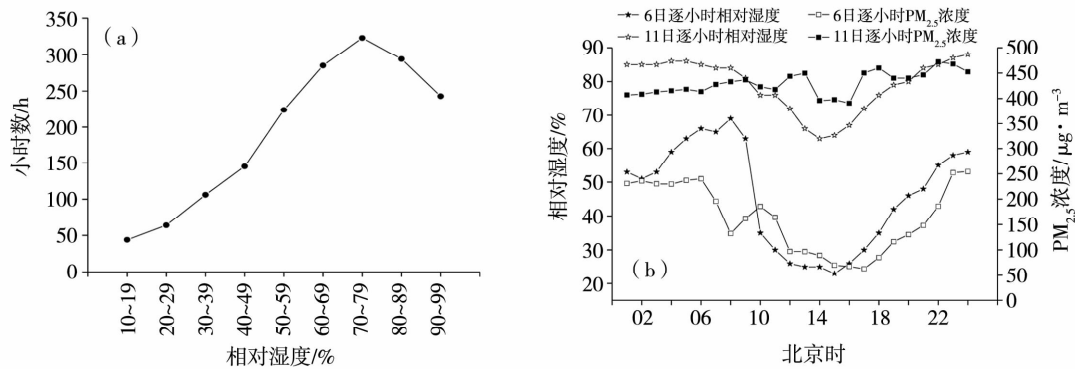


图5 连续重污染过程不同相对湿度分布时数(a)及逐小时相对湿度与 $PM_{2.5}$ 小时浓度的对应关系(b)

Fig. 5 The hours distribution of different relative humidity conditions during continuous heavy pollution processes (a) and the corresponding relationship between hourly relative humidity and $PM_{2.5}$ concentration (b)

3.4 地面6 h及3 h变压

地面冷、暖空气团的移动对污染物的积聚、扩散也会有一定影响。冷、暖气团移速快,引起空气流动,污染物不易积聚,反之利于污染物积聚。选取表现冷、暖空气移动快、慢的6 h及3 h变压进行分析。

分析17次连续重污染天气过程逐日的20时至次日02时、02~08时、08~14时、14~20时4个时次6 h变压发现,4个时次6 h变压(ΔP_6)在 $-7.3 \sim 12.4$ hPa之间, $|\Delta P_6| \leq 3.0$ hPa所占比例在4个时次中分别达95.5%、87.9%、60.6%及84.8%,以02~08时6 h变压为最小,通过对比同时段 $PM_{2.5}$ 小时浓度的变化,此时段也是连续重污染天气中污染最重的时段。

再进一步分析连续重污染天气过程中逐3 h变压(ΔP_3)发现,3 h变压在 $-4.1 \sim 7.5$ hPa之间,各月分布略有差异,其中2~3月 $|\Delta P_3| \leq 3.0$ hPa的比例为80%以上,其余月 $|\Delta P_3| \leq 2.0$ hPa的比例在85%以上,特别是11~12月及1月比例在90%以上。

3.5 降水天气

连续重污染天气主要集中在1~3月及11~12月,夏季没有出现。夏季生态环境相对较好,且夏季是华北主汛期,降水日数多,降水量大。

分析17次连续重污染天气过程期间降水天气发现,有6 d伴有雨、雪天气,分布在1月、11月及2月,日降水量最大值为0.6 mm。 ≤ 0.3 mm的降水可出现在连续重污染天气过程中,但 > 0.3 mm降水天气主要出现在连续重污染天气过程的最后一天,显然降水对空气污染物的沉降、稀释有一定作用,不利于连续重污染天气持续。需要注意的是若

地面风向在降水天气结束后没有转变,则污染物浓度在下降一段时间后会再次上升,这种现象比较容易出现在微量降水日中。图6是2次降水过程中逐小时降水量与污染物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度的对应关系,可以看出,降水对改善空气质量有一定作用,降水量越大,效果越显著。2013年1月31日一次连续重污染天气过程的结束日,期间08~16时有2个降水时间段,降水出现使污染物浓度呈下降趋势,降水结束后,17~19时廊坊市地面风向为偏东风,污染物浓度在降水天气结束2 h后再次上升,20时之后地面风向转为偏北风控制,污染物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度开始下降。因此,日降水量 ≤ 0.3 mm的降水对连续重污染天气的持续影响不大,但日降水量 > 0.3 mm的降水天气则利于连续重污染天气的结束。

3.6 大气逆温层特征

盛裴轩等^[11]指出大气中逆温层的出现,使大气稳定性增强,并能阻碍空气垂直运动的发展。逆温层下面常常聚集着大量的烟、尘、水汽凝结物等,造成大气污染,同时影响天气变化。

廊坊市位于京、津之间,根据气象探空站的分布及空气污染轻重的时间段,选取08时北京探空站资料进行连续重污染天气过程的大气层结特征分析。统计分析结果表明(图7),连续重污染天气过程发生期间500 hPa高度层以下每日都有1层逆温或2层及以上多层逆温,出现2层及以上多层逆温的占56.5%,其中第一逆温层层底高度平均为986.3 hPa,900 hPa以下的比例占91.3%;平均厚度为39.8 hPa,厚度 ≥ 10 hPa的比例占89.8%,逆温层强度(逆温层的气温增幅)平均为4.1 $^{\circ}C$, ≥ 2 $^{\circ}C$ 的比例占85.5%;第二逆温层平均厚度为25.5 hPa,有2

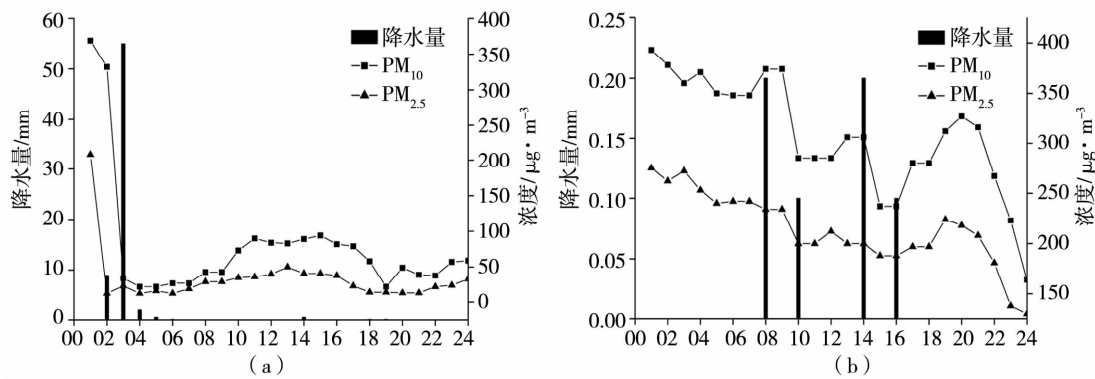


图6 2013年8月7日(a)及2013年1月31日(b)逐小时降水量与PM₁₀和PM_{2.5}小时浓度的对应关系

Fig.6 The corresponding relationship between hourly precipitation and PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations on August 7, 2013 (a) and January 31, 2013 (b)

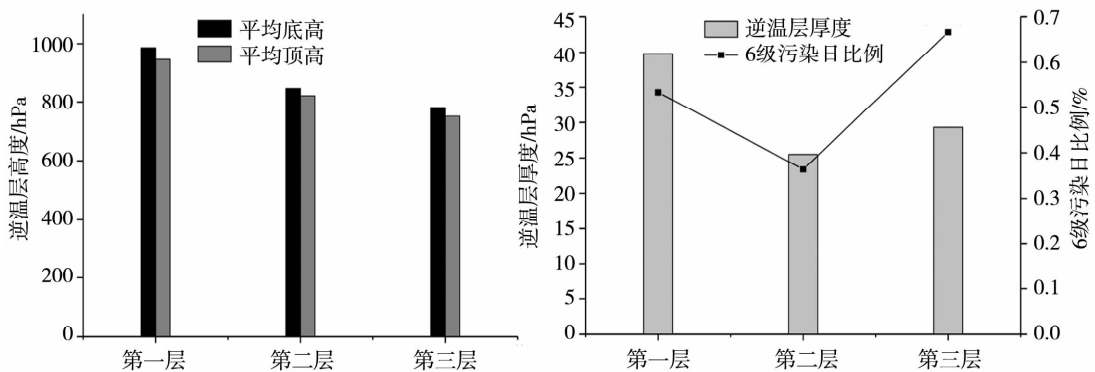


图7 廊坊市连续重污染天气的逆温层分布特征

Fig.7 The distribution of inversion layers during continuous heavy pollution weather processes over Langfang

层逆温的重污染天气日其第一层逆温厚度较只有1层逆温的重污染天气日薄,平均厚度为34.6 hPa,有2层逆温层存在的重污染天气日,其6级严重污染日的比例较有1层、3层逆温的比例低。有3层逆温的重污染天气日出现次数最少,但严重污染日比例最高。统计6级空气严重污染日,结果显示其第一逆温层层底高度在925 hPa以下比例达85%,厚度 ≥ 20 hPa的比例达82%,逆温层强度 ≥ 2 °C的比例达88%。由此可知,逆温层层底高度在925 hPa以下、厚度20 hPa以上、逆温层强度达2 °C以上,更有利于严重污染天气的产生。

4 持续与间断高污染浓度日的异同

在连续重污染天气过程中,以整日持续高污染浓度的影响更为严重,其危害也更为显著。根据廊坊市空气质量资料完整度,各选取连续重污染天气过程中21 d高污染浓度持续日与高污染浓度间断分布日的气象条件进行对比分析,污染物浓度资料

站点为离廊坊市气象观测站最近的药材公司监测站点。对比结果(表2)表明,高污染浓度持续日中6级空气严重污染日的比例高达81%,PM_{2.5}小时浓度平均为314 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,而高污染浓度间断分布日中6级空气严重污染日的比例达24%,PM_{2.5}小时浓度平均为193 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,可见,两者的差异非常显著;此外,高污染浓度持续发生日,最多(占30%)的环流形势配置为高空500 hPa廊坊市处于高压脊前西北偏西气流中,地面为低压场控制;而高污染浓度间断分布日,廊坊市地面以高气压场控制形势为主;高污染浓度持续发生日,平均相对湿度、平均风速分别比高污染浓度间断分布日明显偏高和偏小,特别是相对湿度 $\geq 50\%$ 的比例高达91.3%,后者为71.6%;高污染浓度持续发生日地面风向以东北风至偏东风的频次为最高(此风向有平流逆温的影响^[11-12]),日降水量更小(≤ 0.1 mm);2类污染日第一逆温层层底高度在925 hPa以下比例分别为85%和85.7%,持续高污染浓度日其第一逆温层厚度平均为42.4

hPa, 85% 的个例 ≥ 20 hPa; 第一逆温层强度平均为 $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的个例为 80%, 存在多层逆温的比例为 65%, 而间断高污染浓度分布日其第一逆温层厚度平均为 33 hPa, ≥ 20 hPa 的比例为 71.4%; 逆温层强度平均为 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的比例为 52.4%, 存在多层逆温的比例为 57%。综上所述, 当

高空 500 hPa 廊坊市处于高压脊前西北偏西气流控制下, 地面处于低压场中, 地面风向为东北风至偏东风、风力平均为 1 级, 日降水量 $\leq 0.1\text{ mm}$, 空气相对湿度 $\geq 50\%$, 逆温层厚度 ≥ 20 hPa 及强度 $\geq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 则容易导致高污染浓度持续日的发生和发展。

表 2 持续与间断高污染浓度日的气象条件对比

Tab. 2 The contrast of weather conditions between continuous and intermittent high pollution concentration days

类别	持续高污染浓度日	高污染浓度间断分布日
主要环流形势配置	500 hPa 为西北偏西气流 地面为低压辐合场区	500 hPa 为西北偏西气流 地面为高压场偏前部
小时平均相对湿度/%	73	62
小时最多风向	NE - E	SW - W
小时平均风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.2	1.6
小时平均气压/hPa	1 028.3	1 028.3
逆温层特征	平流逆温、辐射逆温共同影响	以辐射逆温影响为主
$\text{PM}_{2.5}$ 小时平均浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	314	193

5 结 论

(1) 廊坊市连续重污染天气过程主要发生在 1~3 月及 11~12 月, 1 月最多, 最长连续时间可达 7 d。

(2) 连续重污染天气过程日首要污染物主要是可吸入颗粒物 PM_{10} 和细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$, 并以细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 为主。重污染天气有高污染浓度持续日和间断高污染浓度分布日 2 种形势, 两者的气象条件特征差异明显, 高污染浓度持续日危害更严重。

(3) 500 hPa 高空廊坊市处于高压脊前西北偏西气流中、地面分别位于弱高压场区及低压场(倒槽)区是连续重污染天气过程最主要的 2 类配置类型, 后者是 6 级空气严重污染的主要控制形势。

(4) 连续重污染天气形成需关注的气象条件是: 廊坊市地面风向为西南风至偏西风或者为偏东风至东南风, 风力 ≤ 2 级; 2~3 月 $|\Delta P_3| \leq 3.0$ hPa, 其余月 $|\Delta P_3| \leq 2.0$ hPa; 相对湿度在 40%~95% 之间; 日降水量 $\leq 0.6\text{ mm}$, 近地层有逆温层存在, 平均逆温层高度在 900 hPa 以下、厚度 ≥ 10 hPa 及逆温层强度 $\geq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 当廊坊市处于地面低压场(倒槽)控制下、逆温层高度在 925 hPa 以下、厚度 ≥ 20 hPa 及逆温层强度 $\geq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 有利于严重污染天气的形成, 若同

时廊坊市地面风向为东北风至偏东风、风力为 1 级, 相对湿度 $\geq 50\%$, 则有利于高污染浓度持续日的形成和发展。

(6) 燕山、太行山山脉的阻挡作用及重污染区域分布导致的污染物区域输送均是廊坊市连续重污染天气产生不可忽视的重要因素。

参考文献:

- [1] 张夏琨, 王春玲, 王宝鉴. 气象条件对石家庄市空气质量的影响[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 42-47.
- [2] 山义昌, 徐太安, 王善芳, 等. 潍坊市近 10 年空气质量与气象条件的关系[J]. 气象, 2004, 30(10): 47-51.
- [3] 杨兰芳, 李宗义. 兰州市城区大气烟尘污染的变化与气象条件分析[J]. 气象, 2004, 30(8): 53-57.
- [4] 赵敬国, 王式功, 王嘉媛, 等. 兰州市空气污染与气象条件关系分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(4): 491-503.
- [5] 肖舜, 沈瑾, 刘璐, 等. 西安世园会园区大气环境质量与气象因子关系分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 1-7.
- [6] 刘霞霞, 韩素芹, 姚青, 等. 2011 年秋冬季天津 $\text{PM}_{2.5}$ 组分特征及其对能见度的影响[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 42-47.
- [7] 孟燕军, 程丛兰. 影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J]. 气象, 2002, 28(4): 45-47.
- [8] 郭虎, 付宗钰, 熊亚军, 等. 北京一次连续重污染过程的气象条件分析[J]. 气象, 2007, 33(6): 32-36.
- [9] 毛宇清, 李聪, 沈澄, 等. 两次秸秆焚烧污染过程的气象条件对比分析[J]. 气象, 2013, 39(11): 1473-1480.
- [10] 纪晓玲, 桑建人, 马锦艳, 等. 银川市灰霾天气环流分析及预报

- 思路[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 820-824.
- [11] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006. 165.
- [12] 郭立平, 张素云. 冀中滨海平原大雾的形成特征及变化[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 359-364.

Analysis About Meteorological Conditions of Continuous Heavy Pollution Episodes in Langfang of Hebei Province

GUO Liping¹, QIAO Lin², SHI Minghua¹, WANG Xuguang³

- (1. Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang 065000, China;
2. Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089, China;
3. Langfang Environmental Protection Bureau of Hebei Province, Langfang 065000, China)

Abstract: The study analyzed the 17 heavy air pollution weather processes lasting 3 days or more in Langfang from January 2013 to July 2014 by using the statistics method based on air pollution data and conventional meteorological observations such as wind velocity, relative humidity and pressure. The main results were summarized as follows: (1) Continuous heavy pollution weather processes mainly appeared in January to March or November to December, mostly in January, and the longest pollution event lasted 7 days; (2) The primary pollutants was $PM_{2.5}$ during all continuous heavy pollution process events, according to differences of pollutant concentration distribution, there were two types including high pollution concentration distribution continuous days and intermittent days, with average concentration values of $314 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $193 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, and the former accounted for 60%; (3) There were two main kinds of atmospheric circulation configuration, that was Langfang situated in the surface weak high pressure or in the low-pressure field (pour slot) when airflow at 500 hPa layer over Langfang was west-northwest airflow in front of the high pressure ridge, and the latter dominated the atmospheric circulation for Level-6 air pollution. (4) The meteorological conditions for formation of continuous heavy air pollution events were as follows: surface wind direction was southwesterly to westerly or easterly to southeasterly, wind scale was below 2 grades, $|\Delta P_3|$ was less than 3.0 hPa in February and March, and less than 2.0 hPa in rest months, relative humidity was between 40% and 95%, daily precipitation was less than 0.6 mm, an inversion layer occurred near the surface (its average height below 900 hPa, thickness ≥ 10 hPa, and strength ≥ 1 °C). (5) When Langfang was situated in the surface low-pressure convergent condition, and an inversion layer with thickness ≥ 20 hPa and strength ≥ 3 °C occurred below 925 hPa, it was propitious to serious air pollution formation. In addition, northeasterly to easterly surface wind with 1-grade wind scale and relative humidity $\geq 50\%$ in Langfang would promote formation and development of continuous days of high pollution concentrations. (6) Examination of the evolution of a regional heavy pollution event in Hebei and the HYSPLIT backward trajectories of air particles during February 11-15, 2014 indicated that terrain impacts from Yanshan and Taihang Mountains and air pollutants transported from Hebei and its surrounding heavy pollution areas were important factors for continuous heavy pollution weathers.

Key words: continuous heavy air pollution weather; circulation configuration; meteorological conditions; high pollution concentration; impacting factors